

퍼지 논리를 이용한 센서기반 이동로봇의 이동장애물 회피

Moving Obstacle Avoidance for Sensor-Based Mobile Robot using Fuzzy Logic

우상용*, 안현식**, 오하령**, 성영락**, 김도현**

(Sang Yong Woo, Hyun-Sik Ahn, Ha Ryoung Oh, Yeong Rak Seong and Do-Hyun Kim)

Abstract – 본 논문에서는 이동로봇이 임의의 선행물체를 추종할 때 진행 경로상에 이동장애물이 진입하는 경우 이 장애물을 효과적으로 회피할 수 있는 방법을 제시한다. 초음파 센서를 이용하여 이동로봇의 진행경로에 진입하는 이동장애물에 대한 거리 정보와 방향각(Heading Angle)을 구할 수 있다. 이동로봇의 본체 주위에 배치된 16개의 초음파 센서를 이용하여 이동로봇의 전면, 후면 및 측면의 데이터를 얻을 수 있으며 이 정보를 퍼지제어기의 입력으로 사용한다. 퍼지제어기는 이러한 입력정보와 제안된 규칙 베이스를 이용하여 이동로봇의 진행방향과 속도를 결정한다. 본 논문에서 제안한 퍼지제어기를 이용한 시뮬레이션을 통해 이동장애물에 대한 효과적인 충돌회피가 수행됨을 보인다.

Key Words : Obstacle Avoidance, Tracking, Moving Obstacle, Mobile Robot, Fuzzy Logic.

1. 서 론

지난 10여년간 이동로봇의 제어에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔는데, 이동로봇에 관한 대부분의 연구내용은 자세 안정화(Posture stabilization), SLAM(Simultaneous Localization And Mapping), 행동계획(Motion planning), 충돌회피(Collision avoidance), 경로계획(Path planning), 점 추종(Point tracking)등의 문제를 개별적으로 접근하였다. 실생활에 적용되는 이동로봇에 관련해서는 위치추정과 지도작성(Localization and mapping) 문제와 장애물회피(Obstacle avoidance) 그리고 이동장애물 회피(Moving obstacle avoidance) 문제가 초점이 된다.

로봇의 이동장애물 회피 문제는 로봇이 가려고 하는 목적지까지 이동하는 동안 이동로봇의 경로상에 나타나는 장애물을 회피하며 목적지까지 이동하는 동작을 계획하는 문제이다. 이동로봇이 목적지까지 이동하는 문제는 경로 추종제어(Trajectory tracking problem)와 유사한 문제를 다루게 된다. 경로 추종제어란, 주어진 경로를 정해진 점(Point) 또는 자세(Posture)가 잘 따라가도록 하는 제어기를 설계하는 것으로, 다양한 형태의 피드백 제어기를 사용하여, 많은 안정한 제어기들이 제안되었다 [1-4].

이동로봇의 궤적추종(Trajectory tracking)의 경우 기하학적 경로에 따라 주어진 시간에 기준점을 추종하는 것보다는 경로에 좀 더 가깝게 추종함을 제어 목적으로 하고 있으며 장

애물 회피와 같은 경우와 기준 경로가 다양한 형태로 변화될 때에는 기존의 궤적 추종 방법으로 해결하기 어려운 한계를 갖고 있다.

본 논문에서는 이동로봇과 목표점 또는 중간 경로점 사이의 자세오차와 거리 정보를 퍼지 입력으로 받아 이동로봇의 좌우 바퀴 속도를 출력으로 하는 퍼지제어기를 제안하고 이 제어기의 사용이 이동로봇에 대한 자세 문제와 점 추종문제 그리고 장애물회피문제를 해결하는 효과적인 방법임을 시뮬레이션을 통해 확인하기로 한다.

2. 이동로봇의 모델링

이동로봇이 목표지점까지 안정하게 도달하기 위해서는 이동로봇이 원하는 방향을 유지하면서 현재 위치와 목표지점까지의 거리가 영으로 수렴하도록 하는 제어기의 설계가 필요하다.

이동로봇의 모델링은 역학적 기반의 모델링보다 기구학적인 기반에서 간단히 모델링 될 수 있다. 기구학적인 제어기반에서 이동로봇의 진행속도(Linear velocity)는 v , 각속도(Angular velocity)는 ω 로 표현하며, 이동로봇의 위치는 직각 좌표계의 (x, y, θ) 로 나타낸다.

이동로봇의 바퀴가 미끄러짐이 없다고 가정하면 다음과 같은 동특성을 얻을 수 있다 [4].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cdot \cos \theta \\ \dot{y} &= v \cdot \sin \theta \\ \dot{\theta} &= \omega \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 입력 v 는 이동로봇의 진행속도이고, ω 는 이동로

저자 소개

* 準會員 : 國民大學校 電子工學科 碩士課程

***正會員 : 國民大學校 電子工學科 教授 · 工博

봇의 중심에서의 회전각속도 이다.

기구학적 모델기반의 추종제어를 풀기 위해서는 전역적 좌표변환이 필요하다 [4][5]. 목표점의 좌표가 (x_d, y_d, θ_d) 와 같이 주어졌다면 위치 및 각도 오차에 대한 동특성은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ \theta_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & 0 \\ \sin \theta_c & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_d - x_c \\ y_d - y_c \\ \theta_d - \theta_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

그림 1에 목적지에 대한 이동로봇의 오차 (x_e, y_e, θ_e) 를 나타내었다.

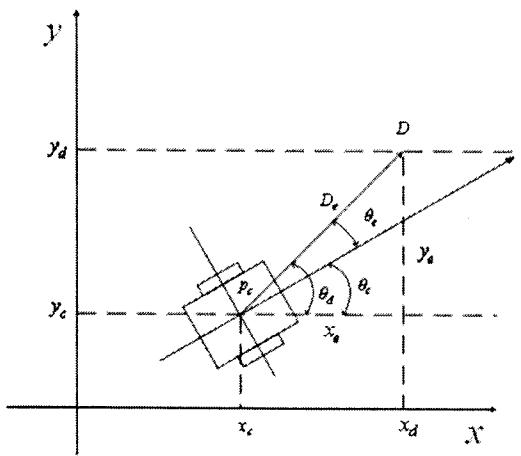


그림 1. 목표점과 현재 위치의 오차.

Fig. 1. Error between the target point and the current position.

식 (1)은 이동로봇의 현재 자세에 대해서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & 0 \\ \sin \theta_c & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 v 와 ω 는 그림 2에서 보이는 바와 같이 이동로봇의 좌,우 바퀴속도의 차이로 구해낼 수 있다.

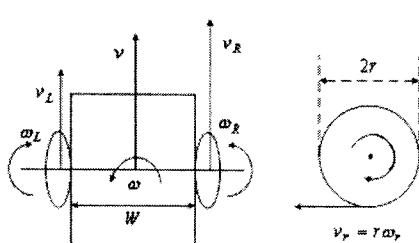


그림 2. 이동로봇의 선속도와 각속도

Fig. 2. Linear and angular velocity of a mobile robot

여기서 속도 $v(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$v(t) = \frac{1}{2} (v_R + v_L) \quad (4)$$

각속도 $\omega(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega(t) = \frac{1}{W} (v_R - v_L) \quad (5)$$

식 (4)와 식(5)의 관계를 고려하여 퍼지제어기는 좌, 우 바퀴속도를 출력으로 이동로봇과 목표점 사이의 거리 오차 및 각도 오차를 줄인다.

3. 퍼지 제어기

퍼지 제어기의 입력변수로서 이동로봇의 중심점과 목표점 사이의 거리 오차 D_e 와 이동로봇의 방향 오차 θ_e 를 사용한다. 각 입력변수에 대한 멤버쉽 함수는 표 1과 같다.

표 1. 퍼지 입력변수에 대한 멤버쉽 함수

Table 1. Membership functions for fuzzy input variables

Distance, D_e	Angle, θ_e
NL : Negative Large	
VN : Very Near	NM : Negative Medium
NE : Near	NS : Negative Small
ZE : Zero	ZE : Zero
FA : Far	PS : Positive Small
VF : Very Far	PM : Positive Medium
	PL : Positive Large

표 1과 같은 입력 변수와 출력 변수를 사용하여 이동로봇의 좌, 우 바퀴속도를 제어하는 경우의 제어 규칙을 표 2에 나타내었다. 표 2와 같이 전 조건부의 입력변수 D_e 와 θ_e 에 대해 각각 5개와 7개의 퍼지 변수를 선택했을 때 좌, 우 바퀴 속도의 출력에 적용된 제어 규칙은 총 70개이다. 이 퍼지 논리 시스템의 출력 가능성 결과는 다음과 같이 표시 할 수 있다. VS(Very Small), MS(Middle Small), SM(Small), ZE(Zero), LA(Large), ML(Middle Large), VL(Very Large).

표 2. 각 바퀴에 대한 퍼지 규칙

Table 2. Fuzzy rules for each wheel

		Distance (D_e)					
		Wheel	Very Near	Near	Zero	Far	Very Far
A N G L E (θ_e)	Negative Large	R	SM	SM	ZE	LA	VL
		L	ZE	VS	ZE	MS	SM
	Negative Medium	R	MS	LA	ZE	ML	VL
		L	ZE	MS	ZE	SM	LA
	Negative Small	R	VS	LA	ZE	ML	VL
		L	ZE	SM	ZE	LA	ML
Z E P S M L V L	Zero	R	VS	MS	ZE	LA	VL
		L	VS	MS	ZE	LA	VL
	Positive Small	R	ZE	SM	ZE	LA	ML
		L	MS	LA	ZE	ML	VL
	Positive Medium	R	ZE	MS	ZE	SM	LA
		L	MS	LA	ZE	ML	LA
V L	Positive Large	R	ZE	VS	ZE	MS	SM
		L	SM	SM	ZE	LA	VL

4. 시뮬레이션

이동로봇의 진행 경로상에 장애물이 판단되면 이동로봇의 현재 위치와 장애물 사이의 관계를 이용하여 충돌을 회피 할 수 있는 새로운 목표점과 오차를 구할 수 있다. 이러한 오차 정보를 퍼지제어기의 입력으로 이동로봇의 좌,우 바퀴속도를 조정하여 원하는 목표점에 충돌 없이 도달하게 된다. 그림 3에서 임의로 주어진 장애물에 대한 회피 동작을 보인다.

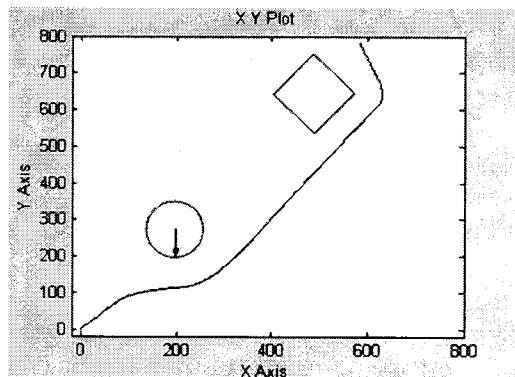


그림 3. 장애물 회피

Fig. 3. Obstacle avoidance

퍼지제어기에 의한 이동로봇의 좌,우 바퀴속도는 그림 4 와 같다.

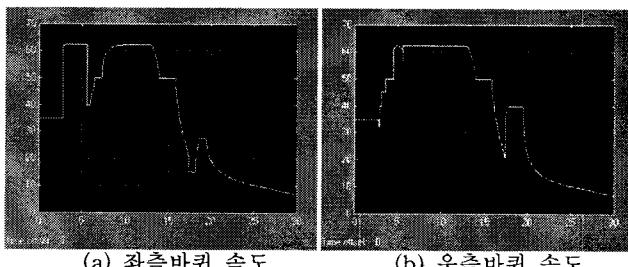


그림 4. 좌, 우 측 바퀴속도(mm/sec)

Fig. 4. Left and right velocity

퍼지 제어기에 입력된 목표점들의 오차 각도는 그림 5 와 같다.

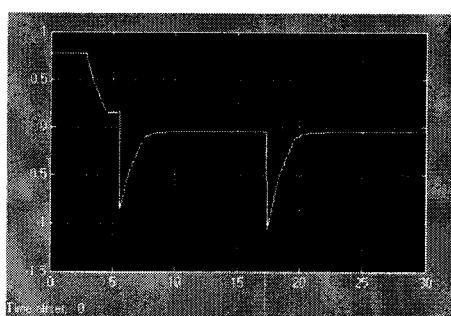


그림 5. 목표점에 대한 오차각도

Fig. 5. Error angle about target point

5. 결 론

본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 이동로봇의 좌,우 바퀴 속도를 출력으로 하는 퍼지제어기를 제시하였으며 제시된 제어기를 사용하여 이동로봇의 목표점 추종 문제와 장애물 회피 문제에 만족한 성능을 보였다. 보다 다양한 환경에서의 적용과 실제 환경에서 이동로봇 동작을 통한 지면과 바퀴사이의 오차 보정이 추후 연구 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] Chieh-Chih Wang and Chuck Thorpe, "Simultaneous localization and mapping with detection and tracking of moving object," *Proc ICRA'02*, vol.3, pp.2918-2924, 2002.
- [2] 이성온, 오상록, 조영조, 유영재 "목표 추적을 위한 이동로봇 제어기 설계," 2000년도 제어계측·자동화·로보틱스 연구회 학술 발표회 논문집, pp. 23-28, vol.3, 2000.
- [3] 고낙용, 이범희 "충돌 회피 가능도를 이용한 로봇의 이동 장애물 회피," ICASE 논문지 제3권, 제2호, pp. 169-178, April, 1997.
- [4] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.384-389, 1990.
- [5] J. P. Laumond, P. E. Jacobs, M. Taix and R. M. Murry, "A motion planner for nonholonomic mobile robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 10, no. 5, pp.577-593, 1994.
- [6] Sungon Lee, Youngil Youm, Wankyun Chung, "Control of car-like mobile robots for posture stabilization," *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Automation*, vol. 3, 1745-1750, 1999.
- [7] J. J. Leonard and H.F. Durrant-Whyte, "Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot," *IEEE/RSJ Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems*, vol.3, pp.1442-1447, 1991.
- [8] J. Guivant, E. Nebot and S. Baiker, "High accuracy navigation using laser range sensors in outdoor applications," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 4, pp. 3817-22, 2000.
- [9] J.-S. Gutmann and C. Schlegel. "AMOS: Comparison of scan matching approaches for self-localization in indoor environments," in *Proc. of the 1st Euro micro Workshop on Advanced Mobile Robots*, IEEE Computer Society Press, 1996.
- [10] S. H. Lian. "Fuzzy logic control of an obstacle avoidance robot," *IEEE Int. Conf. On Fuzzy Systems* vol. 1, pp. 26-30, 1996.
- [11] S. Thongchai and K. Kawamura. "Application of fuzzy control to a sonar-based obstacle avoidance mobile robot," in *Proc. Of the IEEE Int. Conf. On Control Applications Alaska*. September 25-27, 2000.